

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Яшина Виктора Евгеньевича
«Совмещение методов физического и математического моделирования при
определении основных гидродинамических параметров работы
противоточных тарелок»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа Яшина Виктора Евгеньевича посвящена комплексному исследованию гидродинамических параметров пенных противоточных тарелок с использованием методов физического моделирования и вычислительной гидродинамики (CFD). Работа ориентирована на решение прикладной задачи – повышение эффективности и надёжности газоочистных и абсорбционных пенных аппаратов за счёт точного определения условий устойчивого функционирования пенного слоя.

Несмотря на то, что барботажные контактные устройства для массообменных аппаратов изучаются давно, остаётся множество нерешенных задач в условиях повышения требований к ресурсоэффективности и охране окружающей среды.

Противоточные тарелки, особенно в применении к промышленным абсорберам, обладают рядом преимуществ: низкое гидравлическое сопротивление, простота конструкции, меньшая склонность к загрязнению и удобство обслуживания. Однако, в отличие от широко изученных перекрёстноточных тарелок, противоточные конструкции остаются слабо исследованными в части CFD-моделирования и анализа параметров пенного слоя. Особенно это касается новых типов конструкций, таких как тарелки с фиксированными клапанами, для которых отсутствуют апробированные расчётные методики.

Существенным фактором, подтверждающим актуальность работы, является востребованность адекватных моделей, учитывающих не только геометрию и параметры потоков, но и структуру пены, а также брызгоунос. Решение задач такого уровня требует сочетания экспериментальных, теоретических и численных подходов, что в полной мере реализовано в представленной работе.

Таким образом, тема диссертации отвечает актуальным задачам развития химической технологии и проектирования ресурсоэффективных и экологически безопасных аппаратов.

Основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы включающего 122 наименования, 3-х приложений. Работа изложена на 137 страницах машинописного текста, содержит 11 таблиц, 51 рисунок.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлена структура работы, отмечены научная новизна, практическая и теоретическая значимость, а также апробация результатов.

В первой главе проведён широкий анализ научной литературы по теме контактных устройств колонных аппаратов, в том числе пенных тарелок. Уделено внимание существующим методикам расчёта пенного режима, моделированию с использованием методов вычислительной гидродинамики CFD и недостаткам применяемых подходов при описании тарелок противоточных конструкций. Особо подчеркнута недостаточная представленность в литературе исследований, посвящённых тарелкам с крупными отверстиями и фиксированными клапанами.

Во второй главе проведён анализ теоретических основ и эмпирических формул для описания параметров режима работы пенных тарелок. Особое внимание уделено методам расчета высоты пенного слоя на противоточной тарелке.

Изложены результаты экспериментальных исследований, проведённых на специально сконструированной опытной установке пенного аппарата диаметром 400 мм. Описаны параметры испытанных тарелок, методика измерения высоты слоя жидкости, расхода брызгоуноса, визуального наблюдения за режимами. Проведены сравнения тарелок с различными диаметрами отверстий, в том числе тарелок с фиксированными клапанами, ранее не изученных в условиях противотока. Отмечено существование устойчивых режимов с различной высотой слоя жидкости, что имеет значительные последствия для расчёта и эксплуатации.

В третьей главе представлены результаты численного моделирования работы пенного слоя с применением двух подходов: модели объёмной доли жидкости (VOF) и модели взаимопроникающих сред (Эйлера–Эйлера). Осуществлена верификация расчётов по экспериментальным данным. Предложены эмпирические выражения для расчёта коэффициента сопротивления C_D к методике CFD-моделирования противоточной пенной тарелки. Представлены сглаженные аналитические выражения для обеспечения устойчивости и непрерывности расчётов. Проведено сравнение между результатами моделирования и экспериментальными данными.

Четвертая глава посвящена расчёту остаточного загрязнения газа после прохождения туманоуловителя. На основе экспериментальных данных о дисперсном составе брызгоуноса и функции Розина–Рамлера предложен подход к интегральному расчёту остаточного загрязнения газа после очистки в тарельчатом пенном аппарате с проволочным брызгоуловителем. Используются формулы Стокса для оценки эффективности туманоуловителя.

В заключении обобщены результаты, сформулированы выводы, подчеркнута целесообразность совмещения физических и численных методов в расчётах химико-технологических аппаратов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения базируются на сочетании достоверных экспериментальных данных, теоретического анализа и численного моделирования. Результаты получены с использованием современной измерительной и вычислительной техники. Верификация CFD-моделей на основе физического эксперимента подтверждает корректность предложенных подходов. Материал изложен последовательно и логично.

Научная новизна

1. Впервые проведено физическое моделирование работы противоточных тарелок с фиксированными клапанами и определены гидродинамические параметры режимов их работы.
2. Выполнено CFD-моделирование методом объемной доли жидкости (volume of fluid, VOF), с использованием программного пакета OpenFOAM для пенного слоя на противоточных тарелках.
3. Выполнено CFD-моделирование методом взаимопроникающих сред (модель «Эйлера–Эйлера») с использованием программного пакета ANSYS для пенного слоя на противоточных тарелках. Методика расчета коэффициента лобового сопротивления C_D адаптирована для моделирования противоточной пенной тарелки.
4. Разработана методика расчета эффективности очистки газа в аппарате с противоточными пенными тарелками и проволочным (сетчатым) туманоуловителем, учитывающая дисперсионный состав частиц капельного уноса.

Теоретическая и практическая значимость

Проведён комплекс экспериментальных исследований, позволяющих оценить гидродинамику и режимные характеристики противоточных пенных тарелок в

условиях, приближенных к промышленным. Разработаны модели и методы CFD-анализа, пригодные для инженерных расчётов. Практические рекомендации по диапазонам устойчивой работы и минимизации брызгоуноса позволяют существенно повысить эффективность газоочистных и абсорбционных аппаратов.

Применение модели взаимопроникающих сред с адаптированным коэффициентом сопротивления C_D обеспечивает более реалистичную симуляцию пенных режимов. Методика расчёта остаточного загрязнения с учётом капельного состава позволяет выполнить проектный расчёт соответствия нормативам выбросов.

Практическая значимость работы подтверждена актом внедрения и справкой проектных организаций (АО «Национальная газовая компания, ООО «Визави синтез»).

Публикации

Основные результаты и выводы, изложенные в диссертационной работе, отражены в открытой печати. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных, 1 статья в рецензируемом издании. Результаты научного исследования подтверждены участием на научных мероприятиях: опубликовано 5 работ в материалах всероссийских и международных конференций. Это подтверждает апробацию и научную востребованность результатов.

Замечания по диссертационной работе

1. Как объяснить наличие минимума на кривых на рис. 2.5 (Высота чистого слоя жидкости в зависимости от скорости газа и плотности орошения на тарелке $d_0 = 20$ мм $S_0 = 18,3\%$ (тарелка №1)) в отличие от аналогичных данных на рис. 2.6 (Высота чистого слоя жидкости в зависимости от скорости газа и плотности орошения на тарелке $d_0 = 20$ мм, $S_0 = 9,3\%$ (тарелка №2))?
2. Упомянутый на стр 53, рис. 2.11, переходный режим с двойной устойчивостью требует дополнительной теоретической интерпретации.
3. В разделе, где сравниваются CFD-модели, стр. 84, желательно более полно обсудить границы применимости моделей VOF и Эйлера–Эйлера, особенно в части переходных режимов и захлёбывания.
4. При представлении коэффициента сопротивления C_D в адаптированной модели на стр. 79 недостаточно ясно обоснован выбор параметров аппроксимации, особенно коэффициентов A_1 , A_2 и B_1 – B_3 .

5. Не указаны погрешности измерений в экспериментальных исследованиях, особенно по расходу брызгоуноса (стр. 55) и высоте слоя жидкости (стр. 52, 53), что затрудняет оценку точности результатов.
6. В работе имеются опечатки, орфографические и синтаксические ошибки, например во многих местах используется термин «колона» вместо «колонна»; раздельное написание «так же», где по смыслу предложения должно быть слитное «также»; «сделано для сокращения требуемый вычислительных ресурсов» (стр. 82) и т.п.

Указанные замечания носят уточняющий характер и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертация Яшина В.Е. «Совмещение методов физического и математического моделирования при определении основных гидродинамических параметров работы противоточных тарелок» представляет собой самостоятельное, завершённое и современное научное исследование, выполненное на высоком инженерно-научном уровне. По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий в части:

п. 2. Теория подобия, моделирование и масштабирование химико-технологических процессов и аппаратов, машин и агрегатов;

п. 3. Способы, приемы, методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещение сыпучих материалов в технологических аппаратах и схемах;

п. 7. Способы, приемы, методология изучения нестационарных режимов протекания процессов в химической аппаратуре, в том числе с целью формирования предпосылок эффективного управления и автоматизации;

п. 10. Методы изучения, совершенствования и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности, обеспечивающие минимизацию отходов, газовых выбросов и сточных вод, в том числе разработка химико-технологических процессов переработки отходов.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Яшина Виктора Евгеньевича «Совмещение методов физического и математического моделирования при определении основных гидродинамических параметров работы противоточных тарелок» является актуальной завершённой научно-квалификационной работой, полностью соответствующей требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения учёных степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утверждённым приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева №103 ОД от 14 сентября 2023 г., а её автор, Яшин Виктор Евгеньевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Кандидат химических наук (05.17.01),
профессор, профессор кафедры
«Аппаратурное оформление и автоматизация
технологических производств»,



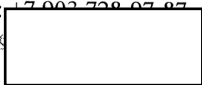
Беренгартен Михаил Георгиевич

«01» 12 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», 107023, Москва, ул. Б. Семеновская, д. 38.

Телефон: 7 000 738 07 07

E-mail: be



Подпись Беренгартена М.Г. заверяю:

ДЕЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ПОГОРЕЛОВА А.Е.

